

## ЧИСЛЕННО-ПОЛЕВОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**Р.В. РЕВЯКИН<sup>1</sup>, В.И. МИЛЫХ<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup> магистрант кафедры электрических машин, НТУ «ХПИ», Харьков, УКРАИНА

<sup>2</sup> зав. кафедры электрических машин, д-р техн. наук, НТУ «ХПИ», Харьков, УКРАИНА

\* email:mvikpi@kpi.kharkov.ua

**Введение.** Основные процессы в электрических машинах (ЭМ) осуществляются через магнитное поле (МП), поэтому непосредственное использование его расчетов является наиболее перспективным путем развития системы изучения и проектирования этих машин. С развитием компьютерной техники и численных методов расчета МП в систему исследования и проектирования ЭМ все больше внедряются расчеты их электромагнитных параметров (ЭМП) на такой основе [1]. При расчете двухмерных МП в активной части ЭМ и, в том числе, асинхронных электродвигателей (АД) [2], широко применяется программный пакет FEMM [3], основанный на методе конечных элементов. Этот пакет привлекателен относительной простотой, общедоступностью и эффективностью.

**Целью этой работы** является представление теоретических основ определения ряда важных ЭМП АД на основе расчета МП в среде FEMM.

**Материалы исследования.** Магнитное поле в поперечном сечении ЭМ описывается дифференциальным уравнением

$$\operatorname{rot}\left[\nu \cdot \operatorname{rot}\left(\vec{k} A_z\right)\right]=\vec{k} \cdot J_z, \quad (1)$$

где  $A_z$ ,  $J_z$  –  $z$ -составляющие векторного магнитного потенциала (ВМП) и плотности тока;  $\nu$  – удельное магнитное сопротивление (УМС);  $\vec{k}$  – орт.

После расчета МП получается распределение ВМП в прямоугольной  $A_z(x,y)$  или полярной  $A_z(r,\varphi)$  системах координат. На этой основе можно определить целый ряд следующих ЭМП АД [1].

Магнитная индукция вычисляется на основе общего выражения  $\vec{B} = \operatorname{rot} \vec{A}$ , и тогда составляющие и модуль магнитной индукции в указанных системах:

$$B_x = \frac{\partial A_z}{\partial y}; B_y = -\frac{\partial A_z}{\partial x}; B_r = \frac{\partial A_z}{r \partial \varphi}; B_\varphi = -\frac{\partial A_z}{\partial r}; B = \sqrt{B_r^2 + B_\varphi^2} = \sqrt{B_x^2 + B_y^2},$$

а через них – составляющие и модуль напряженности магнитного поля (НМП):

$$H_x = \nu \cdot B_x; H_y = \nu \cdot B_y; H_r = \nu \cdot B_r; H_\varphi = \nu \cdot B_\varphi; H = \nu \cdot B,$$

а затем и падение магнитного напряжения на любом отрезке линии  $l_k$ :

$$U_{mag} = \int_{l_k} \vec{H} \cdot d\vec{l},$$

где вектор НМП  $\vec{H}$  формируется по его координатным составляющим.

Магнитный поток через поверхность, ограниченную контуром  $l$ , на

основе общего выражения  $\Phi = \int_l \vec{A} \cdot d\vec{l}$  при двухмерной структуре МП:

$$\Phi = (A_{z1} - A_{z2}) \cdot l_a,$$

где  $A_{z1}, A_{z2}$  – значения ВМП в точках 1 и 2 в плоскости расчета, через которые проходят боковые стороны контура;  $l_a$  – активная длина ЭМ.

Магнитное потокоцепление (МПС) катушки, имеющей  $N$  витков и потоки  $\Phi_k$  отдельных витков, в общем случае определяется по формуле:

$$\Psi = \sum_{k=1}^N \Phi_k.$$

В частном случае для катушки, стороны которой имеют сечения  $S_1$  и  $S_2$ :

$$\Psi = N \cdot l_a \cdot \left( \frac{1}{S_1} \int_{S_1} A_z \cdot dS - \frac{1}{S_2} \int_{S_2} A_z \cdot dS \right).$$

Электродинамические усилия, действующие в магнитном поле на токонесущие элементы с плотностью тока  $\vec{J}$ , определяются базовой формулой:

$$\vec{F} = l_a \int_S [\vec{J} \times \vec{B}] dS.$$

Электромагнитный момент вращения, действующий на ротор:

$$M_{em} = \frac{l_a}{\mu_0 \cdot (r_s - r_r)} \int_{S_\delta} r \cdot B_r \cdot B_\varphi \cdot dS,$$

где  $r_s, r_r$  – радиусы кольцевой зоны, ограничивающей площадью зазора  $S_\delta$  со сторон статора и ротора;  $\mu_0$  – магнитная постоянная.

Для получения реального характера ЭДС проводятся расчеты МП в ряде позиций  $k$  вращающегося ротора и изменяющихся токов обмоток с временными интервалами  $\Delta t$ . Получаемая дискретная временная функция МПС  $\Psi_k(t_k)$ ,  $t_k = k \cdot \Delta t$ ;  $k=0,1,2,\dots$ , раскладывается по известным правилам в гармонический ряд:

$$\Psi = \sum_{v=1,3,5,\dots} \Psi_{m,v} \cdot \cos(v \cdot \omega \cdot t + \gamma_v),$$

что позволяет на основании закона электромагнитной индукции перейти к временной функции ЭДС с выявлением ее гармонического состава:

$$e = - \frac{d\Psi}{dt} = \sum_{v=1,3,5,\dots} v \cdot \omega \cdot \Psi_{m,v} \cdot \sin(v \cdot \omega \cdot t + \gamma_v).$$

И еще можно выявить целый ряд ЭМП АД, по аналогии с изложенным в [1].

#### Список литературы:

1. Милых В.И. Определение электромагнитных параметров электрических машин на основе численных расчетов магнитных полей / В.И. Милых, Н.В. Полякова // *Электротехника і електромеханіка*. – 2006. – №2. – С.40-46.
2. Meeker D. Finite Element Method Magnetics. FEMM 4.2 32 bit 11 Oct 2010 Self-Installing Executable. / D. Meeker // Режим доступа: <http://www.femm.info/wiki/OldVersions>.
3. Милых В.И. Анализ магнитного поля асинхронного двигателя в различных режимах работы с использованием метода конечных элементов / В.И. Милых, Е.А. Сидоренко, Л.В. Шилкова // *Вестник НТУ «ХПИ»*. – Х: НТУ «ХПИ». – 2007. – №24. – С.54-61.